ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Արզումանյան Հայկ Գևորգի

ԱՐԲԱՆՑԱԿԱՅԻՆ ՀԱՂՈՐԴՉՈՎ ԵՎ ԻՐԱԿԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿՈՒՄ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ԳՐԱՆՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Ե.12.03 «Հեռահաղորդակցական ցանցեր, սարքավորումներ և համակարգեր» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

Ե Ր Ե Վ Ա Ն 2016

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
АРМЕНИИ**

Арзуманян Айк Геворгович

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ СО СПУТНИКОВЫМ ПЕРЕДАТЧИКОМ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности
05.12.03 – “Телекоммуникационные сети, приборы и системы”

Е Р Е В А Н 2016

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանում (Պոլիտեխնիկ):

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.թ. Հ.Ա. Գոմցյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տ.գ.դ. Վ.Հ. Ավետիսյան

տ.գ.թ. Ս.Գ. Էյրամջյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2016թ. հունիսի 3-ին, ժամը 14^{00}-ին Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում գործող 032 «Կառավարման, ավտոմատացման և էլեկտրոնիկայի» մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17-րդ մասնաշենք):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2016թ. մայիսի 3-ին:

032 մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար, տ.գ.դ. Ա.Գ. Ավետիսյան

Тема диссертации утверждена в Государственном инженерном университете Армении (Политехник).

Научный руководитель: к.т.н. О.А. Гомцян

Официальные оппоненты: д.т.н. В.Г. Аветисян

к.т.н. С.Г. Эйрамджян

Ведущая организация: Институт радиофизики и электроники НАН РА

Защита диссертации состоится 3-го июня 2016г. в 14^{00} на заседании Специализированного совета 032 - “Управления, автоматизации и электроники”, действующего при Национальном политехническом университете Армении (НПУА), по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.
Автореферат разослан 3-го мая 2016г.

Ученый секретарь Специализированного совета 032
д.т.н. А.Г. Аветисян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В ведущих научных центрах мира ведутся исследования по разработке синхронных систем, обеспечивающих обработку и передачу данных с привязкой к шкале единого мирового времени (англ. coordinated universal time - UTC), которые применяются с целью измерения внешних характеристик окружающей среды и их беспроводной передачи в центр сбора данных для дальнейшего анализа. В основном, подобные системы широко используются в различных сферах промышленности для увеличения эффективности и улучшения производительности. Их применяют в полевых условиях для работы посредством малоемкостных аккумуляторов, а также внедряют в автоматизированных метеостанциях (англ. automatic weather station - AWS), нефтегазовых станциях, шахтах и т.д.

В настоящее время в автоматизированных метеостанциях Индии возникла большая необходимость применения систем регистрации и передачи данных на спутники, получаемых от большого количества датчиков. Целью применения подобной системы является развитие сельскохозяйственной отрасли путем сбора измеряемых значений и их анализа. Это позволяет выявить, в каких полевых условиях можно осуществить соответствующую сельхоздеятельность. Такие цели преследуются в ряде других ведущих стран мира, как Китай, Россия, США и т.д.

Исходя из того, что спутники работают в разных частотных диапазонах и с разными типами модуляции, возникает необходимость перехода к реализации концепции программно-определяемых радиосистем (англ. software defined radio - SDR), обеспечивающих построение гибких и перестраиваемых систем связи, которые позволяют избежать изменения функциональности приемопередатчиков заменой лишь программного обеспечения без изменения самого оборудования.

Регистраторы данных с привязкой реального времени и с применением SDR-радиопередатчиков могут совмещать функции записи, хранения и передачи данных с высокой точностью, а также создавать легко реконфигурируемые и репрограммируемые системы связи с высокой надежностью и со стабильной работой.

Для разработки и реализации системы обработки и передачи данных исследованы аналогичные системы, имеющиеся в данный момент на рынке, а также

описан принцип их работы. В результате выяснилось, что работа реального времени в данных системах нестабильна, передающие оборудования подключаются к системам посредством внешних соединений, а сами системы имеют высокую стоимость и потребляют большую мощность, что затрудняет их применение в полевых условиях при использовании малоемкостных аккумуляторов.

Цель и задачи работы. Целью диссертационной работы является изучение систем обработки и передачи данных, используемых в различных сферах промышленности, исследование имеющихся в них недостатков для разработки и реализации подобной системы со сниженной ценой и потребляемой мощностью, а также с улучшенной надежностью и стабильностью.

Для достижения намеченной цели в диссертации были поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследование работы устройств, обеспечивающих реальное время в системе, и поиск причин возникновения временного отклонения.
2. Исследование принципа работы устройств регистрации данных и передающей системы, разработка метода снижения потребляемой мощности.
3. Разработка системы регистрации и хранения данных с уменьшенной потребляемой мощностью и с улучшенным быстродействием обработки и регистрации данных.
4. Разработка SDR-радиосистемы с привязкой реального времени и со стабильной работой, с помощью которой данные будут передаваться на спутники.
5. Проведение сравнительного анализа разработанной и существующих систем.
6. Реализация синхронной системы обработки и передачи данных на основе разработанных методов и проверка ее эффективности и применимости.

Научная новизна. В процессе исследования были получены результаты, отличающиеся новизной:

1. Разработана система регистрации и хранения данных, полученных от большого количества датчиков с уменьшенной потребляемой мощностью, что позволяет использовать систему в течение длительного периода времени в полевых условиях.

2. Предложены методы, позволяющие повысить быстродействие систем регистрации и передачи данных, что существенно уменьшит время обмена информацией со спутником и снизит стоимость системы.
3. Разработана встраиваемая SDR-радиопередающая система для внедрения ее в различных сферах экономики, посредством которой будет возможно передавать зарегистрированные данные об окружающей среде в центр сбора данных.
4. Разработана синхронная система обработки и передачи данных с привязкой к шкале единого мирового времени с повышенной временной стабильностью.

Практическая ценность.

1. Разработанный метод передачи GPS/ГЛОНАСС спутниковых навигационных сигналов с помощью программного обеспечения (ПО) и с применением соответствующих устройств может применяться для военных целей.
2. Разработанный метод калибровки тактового генератора (RTC) с помощью программной логической интегральной схемы (ПЛИС) может применяться в системах обработки и передачи данных с привязкой реального времени.
3. Разработанная система регистрации и хранения данных, полученных от многочисленных датчиков, может применяться в центрах сбора данных для анализа характеристик окружающей среды.
4. Разработанная система SDR с применением тактового генератора RTC может применяться в беспроводных передающих системах для обеспечения передачи сигналов с точностью до миллисекунд.
5. Разработанную систему регистрации данных с SDR-радиопередатчиком можно применять в автоматизированных метеостанциях, в нефтегазовых станциях, в шахтах и т.д.

Внедрение результатов работы. Реализованная система обработки и передачи данных с привязкой к шкале единого мирового времени была внедрена компанией "OLYMP Engineering LLC" совместно с "Microcomm India Ltd." в автоматизированных метеостанциях Индии с целью развития сельскохозяйственной отрасли.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Метод управления устройствами, принимающими сигналы от большого количества датчиков, который позволяет уменьшить потребляемую мощность системы.
2. SDR-передающая система, основанная на применении тактового генератора (RTC) и ПЛИС и позволяющая передавать данные на спутники с высокой точностью.
3. Метод расчета калибровочного значения RTC, обеспечивающий фиксацию расхождения единого мирового времени в системе и, следовательно, синхронную работу системы в течение длительного периода времени.
4. Структурная схема и принцип работы системы регистрации и передачи данных, полученные на основе результатов разработанных методов и позволяющие улучшить показатели характеристик.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на:

- ежегодных научных конференциях Национального политехнического университета Армении (НПУА, бывший ГИУА) (Ереван, 2013 - 2015 гг.);
- научных семинарах кафедры "Радиоустройства" факультета Радиотехники и систем связи НПУА (2013-2016 гг.);

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в шести научных работах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов и списка литературы из 106 наименований. Общий объем диссертации составляет 122 страницы, включая 35 рисунков, 12 таблиц. Диссертация написана на армянском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна и практическое значение работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

<u>В первой главе</u> дается общее описание систем обработки и передачи данных с привязкой реального времени, обсуждены главные достоинства ПЛИС по сравнению с операционными процессорами для применения в SDR-радиосистемах, описаны основные методы регистрации и хранения данных, полученных от разных видов датчиков. Приведены краткое описание развития SDR и принципы их работы. Представлены результаты анализа систем регистрации и передачи данных, имеющихся в продаже на данный момент. Показано, что существующие системы имеют высокую цену и потребляют значительную мощность, что затрудняет их применение в полевых условиях с помощью малогабаритных аккумуляторов. Исходя из цели диссертационной работы, исследован принцип работы существующих систем и выяснены имеющиеся в них недостатки. Показано, что устройства, принимающие сигналы от датчиков, требуют значительного расхода мощности, поскольку датчики непрерывно опрашиваются центральным процессором. Отмечено, что для хранения измеряемых данных необходима высокоточная временная привязка к шкалам, задаваемым системами, работающими с атомными часами (системы GPS, ГЛОНАСС, GALILEO и т.д.), а в качестве задатчика временной шкалы в системе широко используются часы реального времени (англ. real time clock, RTC). Однако в связи с конечной стабильностью частоты задатчика системы после длительного периода работы теряют работоспособность из-за расхождения внутренней временной шкалы и единого мирового времени. Показано, что поскольку сеансы связи со спутниками имеют малую продолжительность в фиксированные заранее моменты времени, одной из наиболее актуальных проблем является передача измеренных данных на спутники в указанные сеансы связи. Представлены возможные решения для устранения отмеченных недостатков в разрабатываемой системе.

В конце первой главы приведены цель и задачи диссертационной работы.

<u>Во второй главе</u> предложены методы для разработки устройств, обеспечивающих работу системы обработки и передачи данных. Разработан метод передачи спутниковых навигационных сигналов GPS/ГЛОНАСС с помощью ПО, который дает возможность исследовать работу RTC независимо от условия видимости спутниковых группировок и обнаружить рассогласование системного и реального времен. Предложено использовать RTC с периодической калибровкой по

сигналам мирового времени, присутствующим в спутниковых сообщениях. Для этого RTC снабжен калибровочными регистрами, в которые заносятся опорные значения, полученные раз в день по сигналам GPS/ГЛОНАСС и раз в месяц калибрующиеся с помощью спутникового сигнала PPS (pulse per second), имеющего период 1 с.

Калибровка RTC с точностью до 1 мс является одной из функций, применяемой в системе ПЛИС (рис. 1).

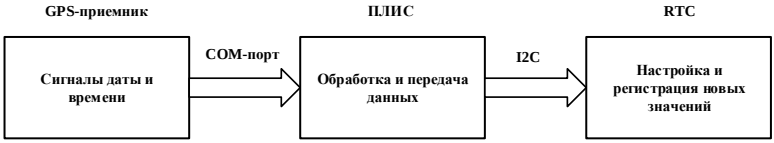

Рис. 1. Структура записи значений в регистрах RTC

Как видно из схемы рис. 1, ПЛИС получает сигналы даты и времени от GPS через COM-порт и после обработки данных передает настроечные данные на RTC по протоколу I2C. Для синхронизации RTC с GPS настроечные данные записываются в RTC, используя фронты сигнала PPS. Используется протокол I2C с тактом 400 кГц, для чего рассчитывается задержка записи значений в регистры RTC, в результате чего запись начинается по фронту импульса PPS и заканчивается по фронту следующего импульса. Используя фронты PPS, можно также рассчитать количество тактов RTC и записать калибровочное значение для фиксации расхождения временных шкал.

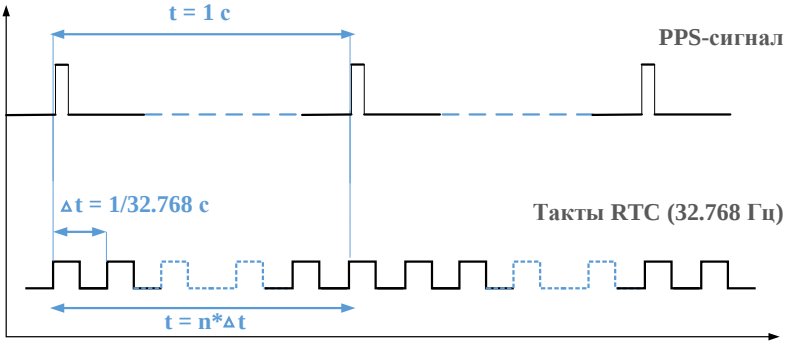

Рис. 2. Рассчитанные такты RTC с использованием PPS-сигналов

Как видно из рис. 2, в идеальном случае должно рассчитываться $32{,}768$ тактов за период 1 с в ПЛИС, но в реальности рассчитывается $32{,}768 \pm \Delta n_{ош}$ (где $\Delta n_{ош}$ – ошибочное значение). Для измерения ошибочного значения была использована единица измерений ppm (parts per million) и предложена следующая формула расчета значения калибровки:

$$N_{ош} = \frac{\left(\frac{k}{f} \times \frac{F_{\Sigma}}{N_{PPS}} - k\right)}{2}, \quad (1)$$

где $k = 1000000$ ppm – константа, задающая точность калибровки RTC; $f = 2^n$ – частота тактового генератора $n = 1, 2, \ldots$; F_{Σ} – максимально возможное значение тактов калибровки, определяемое частотой задающего генератора системы и интервалом между последовательными калибровками; N_{PPS} – количество PPS-импульсов во время калибровки.

Рассчитанное по (1) значение показывает временное отклонение тактового сигнала RTC в количестве импульсов с периодом 1 мкс.

Показано, что в описываемой системе приемные устройства имеют ряд входов для подключения датчиков разных видов. В аналогичных системах сбора данных эти датчики непрерывно опрашиваются центральным процессором, в результате чего система требует значительного расхода мощности (1…2 Вт). Применение управления включением приемных устройств с помощью RTC лишь в необходимые моменты времени с одновременной регистрацией измеряемых величин и организацией обмена данными между всеми устройствами внутри системы по высокоскоростной общей шине передачи данных с прямым доступом к памяти (direct memory access - DMA) позволило уменьшить потребляемую мощность системы принимающих устройств на один порядок. Поскольку RTC системы калиброван с помощью сигнала PPS и его показания времени и даты синхронизированы с мировой шкалой времени по сигналам GPS, тактовый сигнал RTC можно использовать путем включения и выключения датчиков в заранее определенные моменты времени опроса данных.

Программное управление системой организовано с помощью центрального процессора – высокоскоростного процессора ARM (процессор с сокращенным набором команд – acorn reduced instruction set computing machine).

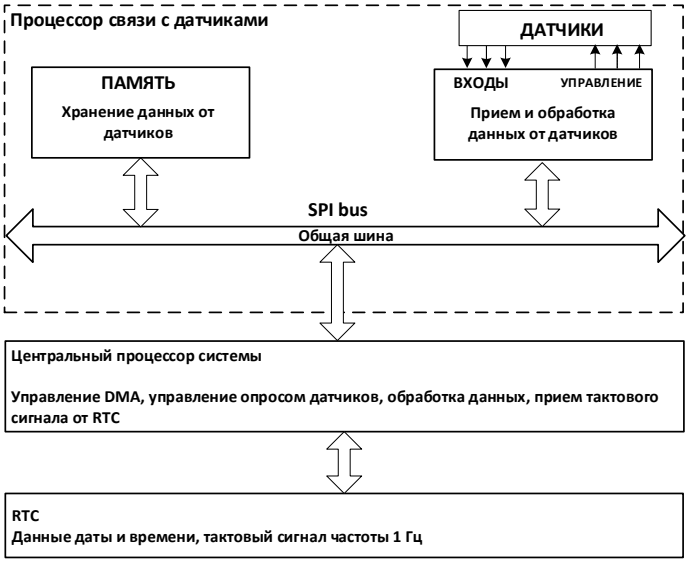

Рис. 3. Структурная схема управления принимающими устройствами

Структурная схема управления принимающими устройствами приведена на рис. 3. "Датчики" через устройства приема и обработки имеют прямую связь с памятью и процессором по общей шине и работают по запросу центрального процессора. Процессор определяет моменты регистрации данных, подсчитывая следующие тактовые импульсы, поступающие от RTC с периодом 1 мс. Вне этих моментов принимающие устройства находятся в "спящем" режиме и потребляют минимальную мощность. Описанное программное управление позволило реализовать систему считывания и хранения данных датчиков с существенно сниженной потребляемой мощностью (до 25 мВт).

Разработана SDR-передающая радиосистема, основанная на использовании ПЛИС, цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), в состав которого входит высокочастотный цифровой преобразователь, и синтезатора частот с программно-настроечными регистрами. Для интерполяции и фильтрации сигнала использована программа "FIR Compiler", занесенная в ПЛИС. С помощью смесителя получается

программно-определяемый сверхвысокочастотный (СВЧ) сигнал, который после фильтрации и внешнего усиления передается на спутники. На рис. 4 представлен принцип регистрации настроечных значений в регистрах ЦАП с преобразователем частоты (ПЧ).

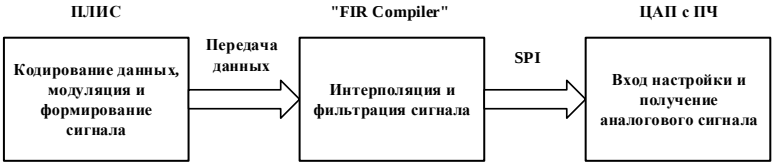

Рис. 4. Структурная схема записи значений в регистрах ЦАП с ПЧ

Как видно из рис. 4, кодирование данных, модуляция и формирование сигнала происходят в ПЛИС, а затем выполняется передача данных в другую часть программы, где реализуются интерполяция и фильтрация (FIR - Finite Impulse Response - фильтр). Настроечные значения ЦАП с ПЧ и сформированный сигнал от ПЛИС передаются в блок ЦАП с ПЧ с помощью протокола SPI, в результате которого получается программно-определяемый аналоговый сигнал. При помощи разработанной программы обеспечивается возможность изменять и записывать другие значения частоты, а также тип модуляции в ПЛИС в настроечных регистрах ЦАП с ПЧ.

В третьей главе предложен метод разработки описанной системы, проведены исследование и анализ показателей системы. Описаны методы уменьшения мощности и цены, а также увеличения быстродействия системы.

Отмечено, что второй функцией, обеспечиваемой высокоточной привязкой систем обработки информации к шкале реального времени, является передача информации по сложным, в частности, спутниковым каналам. Как известно, сеансы связи со спутниками проводятся в короткие промежутки времени (до 500 мс), в течение которых в относительно широкой полосе частот передается большой объем информации. Описанная передача обеспечивается широкополосными передатчиками и сложными видами модуляции. При этом сигналы GPS/ГЛОНАСС можно использовать для калибровки времени в передающих устройствах, а применение ПЛИС дает

возможность обеспечить обработку данных в реальном времени с помощью программных средств.

Структурная схема разработанной системы с программно-управляемыми приемом данных и их передачей на спутник показана на рис. 5.

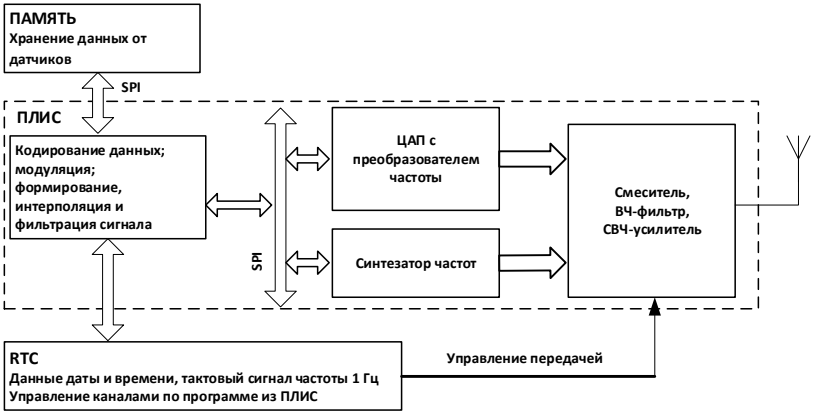

Рис. 5. Структурная схема системы SDR с использованием тактового генератора RTC

В состав описываемой системы обработки и передачи данных включен управляемый RTC SDR-передатчик для обеспечения передачи измеряемых данных на спутники в заранее определенные сеансы связи малой продолжительности. Задачей RTC при управлении передатчиком является его включение в установленные сеансы связи на основании данных мировой шкалы времени, зафиксированной в результате синхронизации по сигналам GPS. Включение и отключение передатчика SDR-системы осуществляются сигналом управления передачей с выхода RTC. Время включения определяется программой после каждой передачи данных. После включения передающего блока ПЛИС считывает данные, полученные от датчиков с помощью принимающих устройств и хранящиеся в устройстве памяти, осуществляет формирование, кодирование и модуляцию сигнала, после чего конфигурирует настроечные значения в регистрах ЦАП с ПЧ и синтезатора частот для получения информационного и гетеродинного сигналов.

При программном определении моментов включения передатчика учитываются задержки для формирования выходного сигнала (после интерполяции и фильтрации), для чего контрольное время в регистрах RTC устанавливается за 10 с до начала передачи, установленного синхронизацией по сигналам GPS.

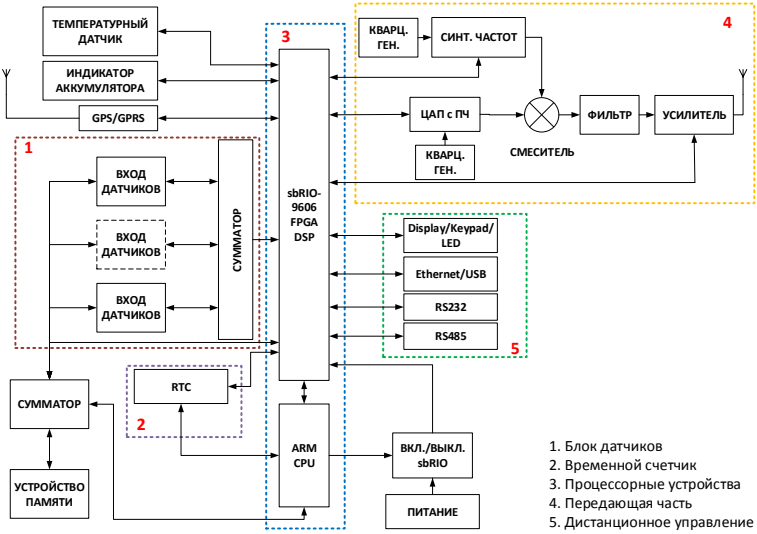

Рис. 6. Структурная схема системы регистрации и передачи данных

Приведена структурная схема предложенной системы (рис. 6), основанная на использовании устройства sbRIO-9606 (в качестве цифровой обработки сигналов - ЦОС) и процессора ARM (в качестве центрального процессорного устройства - ЦПУ). Система принимает сигналы от 24 аналоговых и 8 цифровых датчиков, записывает их в памяти, а после получения сигнала передачи от RTC процессор ARM включает sbRIO, которое после чтения, обработки, формирования сигнала включает передатчик с целью получения аналогового СВЧ сигнала, усиления и передачи на спутники. После передачи sbRIO устанавливает следующее контрольное время в регистрах RTC и выключается.

<u>В четвертой главе</u> описана разработанная система обработки и передачи данных с привязкой к шкале единого мирового времени. Изображены внешний вид и

лицевая панель системы. Описаны назначения входных и выходных разъемов, а также программно-изменяемые параметры с помощью клавиатуры и дисплея.

Рис. 7. Вид реализованной системы и лицевая панель входных/выходных разъемов

Оборудование (рис. 7) тестировалось в индийской лаборатории ISRO (Indian space research organization), данные передавались на спутник INSAT C3. Приведены и описаны компоненты, вносимые в систему (рис. 8).

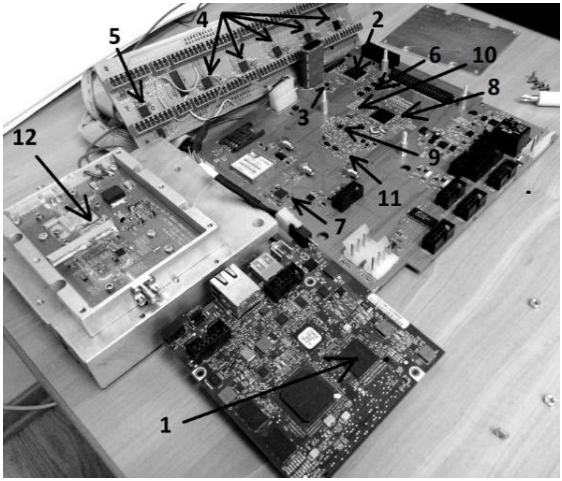

Рис. 8. Внутренний вид реализованной системы и вносимые компоненты

Показано, что функции установки временных интервалов передачи данных на спутник, опроса принимающих устройств от ЦПУ, настройки регистров ЦАП с ПЧ и синтезатора частот, калибровки RTC с помощью системы GPS, включения GPS для

синхронизации системного времени (раз в день), отслеживания контрольного сигнала передачи данных, обработки данных, формирования и модуляции, а также интерполяции и фильтрации сигнала реализованы устройством sbRIO-9606, в котором использована ПЛИС Spartan-6 LX45 (*1*, на рис. 8). ARM-процессор системы реализован на микросхеме ATSAM4SD32CA-AU *2*, а тактовый генератор и счетчик интервалов времени – на микросхеме M41T62Q6F *3*. Система оснащена пятью приемниками ADUC7060BCPZ32 для организации 24 аналоговых входов *4* и приемником ATSAM3S1AA для организации восьми цифровых входов данных *5*. Хранение данных обеспечивается четырьмя устройствами памяти 23LC1024-I/SN *6*. Синхронизация по сигналам GPS выполняется устройством SIM68 *7*. Подсистема передачи данных включает высокочастотный ЦАП AD9957 *8*, синтезатор частот ADF4360-0BCPZ *9* для формирования сигнала гетеродина, смеситель MAMX-007238-CM25MH *10* для переноса сигнала на частоту передачи, фильтр на поверхностных акустических волнах FAR-F6KY-2G6550-B4UN *11* для фильтрации сигнала на высокой частоте и внешний усилитель на частоте 2,655 ГГц *12* для усиления сигнала до 10 Вт.

Приведена спецификация разработанного оборудования (табл. 1).

Таблица 1

Технические характеристики разработанной системы

Характеристики передатчика		**Цифровой интерфейс**	
Выходная мощность	0…10 Вт	USB-B	1
Шаг изм. мощности	1 Вт	RS-232	2
Частотный диапазон	2,670...2,700 ГГц	RS-485	1
Шаг изм. частоты	10 Гц	Цифровые входы	8
Полоса частот	1 МГц	Макс. значение	8 кГц
Фазовые шумы	-90 дБк/Гц на 10КГц	Уров. напряжения	3,3 В, 5 В
Спектральная мощ.	-110 дБм/Гц	SDI-12	2
SFDR	50 дБк	**Экологические характеристики**	
Обработка данных	FPGA	Температура	-40 до +60 C^0
Типы модуляции	ПО	Относ. влажность	10% до 95%
Аналоговые входы		**Потребляемая мощность**	
Входы	24	Питание	12В
Тип	Дифференциал	Ток	макс. 1А
Разрешение	24 бит	Потребляемая мощ.	50 мАч
Частота выборки	1 SPS	Макс. мощ.	10 Вт

Проведено сравнение параметров разработанной системы с параметрами аналогичных доступных систем JDCP-770A (Корея) и ERM-AWS (Индия). В табл. 2 приведены сравнительные данные потребляемой мощности, время обработки данных (полученных от датчиков), отклонение времени в день и типы возможных модуляций для передачи данных на спутники. Как видно из таблицы, предложенная система потребляет значительно меньшую мощность по сравнению с существующими системами, обрабатывает данные в 5 раз быстрее, системное время отклоняется до 100 мс в день, а обработка, кодирование и модуляция сигнала реализуются программным способом, что обеспечивает реконфигурацию системы при ориентации на работу с различными спутниками.

Таблица 2

Сравнительные данные разработанной системы

Параметр	**Устройство**		
	Разработанная система	JDCP-770A	ERM-AWS
Потребляемая мощность, Вт	8	9	12
Время обработки данных	10 с	более 1 мин.	до 1 мин.
Отклонение врем. RTC в день, мс	до 100	до 500	используется GPS
Тип модуляции	Программно-определяемый	Реализован для заданного спутника	
Точность времени передачи	1 мс	Нестабильно от 10 до 500 мс	
Время разработки системы, месяц	6	12	12
Быстродействие (% меньше разработанной системы)	-	60	30
Приближенная стоимость, *$*	≈1300	>2000	>3000

Предложенная система хранения данных в реальном времени со спутниковым передатчиком, основанная на использовании тактового генератора RTC для управления включением принимающих устройств от многочисленных датчиков и реализации программно-управляемой передающей части, а также с калибровкой временной шкалы по сигналам GPS, обеспечивает стабильную работу и уменьшает

потребляемую мощность и стоимость системы в 2…3 раза по сравнению с существующими системами.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Разработан метод обеспечения стабильной работы реального времени, основанный на определении значений калибровки тактового генератора RTC в ПЛИС, с помощью которого системное время отклоняется на 100 мс в день, что в 4…5 раз меньше по сравнению с существующими системами [5, 6].
2. Разработан метод управления принимающими устройствами датчиков, который уменьшает потребляемую мощность системы хранения данных в 2…3 раза [2].
3. Разработана SDR-передающая система, основанная на использовании тактового генератора RTC и ПЛИС, которая передает сигнал на спутники с точностью до 1 мс, а быстродействие обработки данных увеличивается в 5 раз по сравнению с существующими системами [1].
4. Разработана и реализована система обработки и передачи данных с привязкой к шкале единого мирового времени, принимающая сигналы от 24 аналоговых и 8 цифровых датчиков. Приведены характеристики и спецификация системы [3].
5. В результате экспериментов показано, что реализованная система уменьшает потребляемую мощность до 2 раз, цену - от 1,5 до 2 раз, увеличивает быстродействие обработки и формирования сигнала от 5 до 6 раз, стабильность времени - до 5 раз [4].
6. Разработанная система используется в автоматизированных метеостанциях Индии с целью развития сельскохозяйственной отрасли, а также может использоваться в других целях, предусматривающих хранение данных, получаемых и обрабатываемых в реальном времени, и их беспроводную передачу [3].

Содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. **Арзуманян А.Г., Гомцян О.А., Севоян О.Ж.** Реализация работы высокочастотного и цифроаналогового преобразователей с помощью программируемой логической интегральной схемы // Вестник НПУА "Информационные технологии, электроника, радиотехника". – 2015. – No. 1. – С. 106-113.
2. **Арзуманян А.Г.** Обработка сигналов аналоговых и цифровых датчиков с помощью ARM процессора и с возможностью прямого доступа к памяти // Известия НАН РА и НПУА. Серия Технических наук. – 2015. – Т. 68, No. 4. – С. 472-480.
3. **Арзуманян А.Г., Севоян О.Ж., Гомцян О.А.** Синхронная система обработки и передачи данных с привязкой к шкале единого мирового времени // Журнал ЛЭТИ "Известия вузов России. Радиоэлектроника". – СПб., 2016. – No. 1. – С. 3-7.
4. **Արզումանյան Հ.Գ., Գոմցյան Հ.Ա., Սևոյան Օ.Ժ.** Արբանյակային հաղորդչով տվյալների պահպանման համակարգերում հզորության ծախսի նվազեցման և արագագործության բարելավման եղանակ // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր. – 2015. – Հատոր 12, No. 3. - էջ 550-554:
5. **Արզումանյան Հ.Գ., Սևոյան Օ.Ժ.** Գլոբալ դիրքորոշման համակարգի (GPS-ի) ազդանշանի մոդելավորում և հետազոտում // ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու. - Երևան, 2014. - Մաս 1. - էջ 264-268:
6. **Արզումանյան Հ.Գ.** GPS ազդանշանի միջոցով իրական ժամանակով տակտային գեներատորի (RTC) կարգավորումը ծրագրավորվող ինտեգրալ տրամաբանական սխեմայում // ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու. - Երևան, 2015. - Մաս 1. - էջ 251-257:

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Իրական ժամանակի համակցմամբ տվյալների գրանցման և հաղորդման համակարգերը լայնորեն կիրառվում են արդյունաբերության մի շարք ոլորտներում, որտեղ կատարվում են արտաքին միջավայրի բնութագրերի չափումներ և ստացված արժեքների հաղորդում հավաքագրման կենտրոններ հետագա վերլուծության նպատակով, որն էլ հնարավորություն է տալիս բարելավել տնտեսության արդյունավետությունը: Այսպիսի համակարգ նախագծելու և իրականացնելու համար հետազոտվել են շուկայում առկա նմանատիպ համակարգերը և դրանց աշխատանքի սկզբունքները, ինչի արդյունքում պարզ է դարձել, որ իրական ժամանակի աշխատանքն այդ համակարգերում մեծամասնորեն անկայուն է, հաղորդիչ սարքավորումները մեծամասնորեն արտաքին միացմամբ են, ինչպես նաև համակարգերն ունեն բարձր գին և ծախսում են մեծ հզորություն, ինչը բարդացնում է նրանց աշխատանքը «դաշտային» պայմաններում՝ մարտկոցների միջոցով:

Ատենախոսության նպատակն է հետազոտել արդյունաբերության ոլորտում կիրառվող տվյալների գրանցման և հաղորդման համակարգերը, նրանցում առկա թերությունները և նախագծել ու իրականացնել նմանատիպ համակարգ՝ նվազեցված հզորության ծախսով և գնային արժեքով, ինչպես նաև բարելավված կայունությամբ և հուսալիությամբ:

Ատենախոսական աշխատանքի հիմնական եզրակացություններն ու արդյունքներն են՝

1. Մշակվել է իրական ժամանակի կայունության ապահովման եղանակ, որը հիմնված է FPGA-ի միջոցով RTC-ի չափաբերման արժեքի ճշգրիտ որոշման վրա: Մշակված եղանակով համակարգի ժամանակը իրական ժամանակից օրեկան շեղվում է մինչև 100 մվ-ի չափով, ինչը 4-ից 5 անգամ պակաս է, քան առկա նմանատիպ համակարգերի ժամանակային շեղվածությունը [5, 6]:

2. Մշակվել է տվիչներից ազդանշանների ընդունման սարքավորումների ղեկավարման եղանակ, ինչը թույլ է տալիս նվազեցնել տվյալների գրանցման և պահպանման համակարգերի հզորության ծախսը 2-ից 3 անգամ [2]:

3. Մշակվել է FPGA-ի միջոցով և RTC-ի օգտագործմամբ SDR ռադիոհաղորդիչ համակարգ, որն ազդանշանն ուղարկում է արբանյակներ մինչև 1մվ ճշտությամբ: Տվյալների մշակման արագագործությունն աճել է մինչև 5 անգամ առկա նմանատիպ համակարգերի նկատմամբ [1]:

4. Մշակվել և իրականացվել է SDR արբանյակային հաղորդչով և իրական ժամանակի համակցմամբ 24 անալոգային և 8 թվային տվիչներից ընդունող տվյալների պահպանման համակարգ: Բերվել են այդ համակարգի տեխնիկական և մեխանիկական բնութագրերը, ինչպես նաև անալոգային և թվային տվիչների մուտքային բնութագրերը [3]:

5. Փորձնական չափումների արդյունքում պարզվել է, որ մշակված համակարգն ունի մինչև 2 անգամ նվազեցված հզորության ծախս, 1,5-ից 2 անգամ նվազեցված գին, 5-ից 6 անգամ բարելավված տվյալների մշակման և ազդանշանի ձևավորման արագագործություն, 5 անգամ ճշգրիտ ժամանակի կայունություն, ինչպես նաև 2 անգամ կարճ նախագծման և իրականացման ժամանակահատված [4]:

6. Մշակված համակարգը արդյունավետ կիրառելի է ավտոմատացված եղանակային կայաններում, որի չափումների միջոցով հնարավոր է բարելավել գյուղատնտեսության արդյունավետությունը՝ նախօրոք իմանալով թե որ «դաշտային» պայմաններում ինչ գյուղատնտեսության ոլորտ է հնարավոր իրականացնել: Այն նաև արդյունավետ կիրառելի է արդյունաբերության այլ ոլորտներում, որտեղ անհրաժեշտություն կա գրանցել արտաքին միջավայրի բնութագրերը իրական ժամանակի համակցմամբ, և անլար կապով հաղորդել հավաքագրման կենտրոններ [3]:

HAYK GEVORG ARZUMANYAN

IMPLEMENTATION OF REAL-TIME DATA LOGGER SYSTEM WITH SATELLITE TRANSMITTER

SUMMARY

Real-time data acquisition and transmission systems are widely used in several industry areas, where measurements of environmental characteristics and transmission of received data to the data acquisition center are executed for further analysis in order to increase efficiency and improve productivity. Currently available systems on the market and their operating principles have been analyzed for development and implementation of the similar one. As a result of analysis, it was concluded that the real-time operation in the system is unstable, the transmission equipment are with an external compound, and systems are expensive and consume more power, which make difficult their usage in field conditions via batteries.

The goal of this dissertation is to research data processing and transmission systems used in spheres of industry, find out the existing issues in them, in order to develop and implement similar one at a reduced cost and power consumption, as well as improved reliability and stability.

The main conclusions and results of the dissertation are as follows:

1. Real-time stable operation ensuring method has been developed for RTC devices, which is based on the determination of the value of RTC calibration in FPGA. As a result, the system time deviates 100 ms per day, which is by 4 to 5 times less than existing systems [5, 6].
2. Controlling method has been developed for the sensor data acquisition devices, which allows to reduce the power consumption of data logger by 2…3 times [2].
3. SDR transmission system has been implemented, which is based on a use of RTC via FPGA. It transmits the signal to the satellites with an accuracy of 1 ms, and provides the data processing speed to 5 times improvement, compared with existing systems [1].

4. Synchronous data processing and transmission system with reference to the world time scale has been developed and implemented, which received data from 24 analog and 8 digital sensors. The characteristics and specification of an implemented system are provided [3].

5. As a result of experiments, it is shown, that the developed system reduces power consumption to 2 times and the price by 1.5 to 2 times, increases data processing speed and signal formation by 5 to 6 times, and also provides to 5 times improvement of real-time stability in system [4].

6. The developed system is used in the automatic weather stations of India for the purpose of improvement of agriculture sphere efficiency. It can be also used in other tasks providing data storage and its wireless transmission, where data processing and logging are operating in a real-time [3].